

Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique

*Le Laboratoire de l'environnement marin de Monaco
collabore à l'évaluation de la situation radiologique
des mers de Barents et de Kara*

par
**Pavel Povinec,
Iolanda Osvath et
Murdoch Baxter**

Avant 1992, le monde savait peu de choses sur les niveaux de radioactivité dus aux immersions pratiquées dans les mers arctiques. La situation a changé au cours des trois dernières années, en grande partie grâce aux travaux de scientifiques de Russie, de Norvège et du Laboratoire de l'environnement marin de Monaco (AIEA-LEM). En 1992, le LEM accepte l'invitation des gouvernements norvégien et russe de participer à des croisières d'étude dans la mer de Kara pour collaborer au programme d'évaluation relatif à l'évacuation de déchets radioactifs dans les mers de Barents et de Kara. Ultérieurement incorporé au Projet international d'évaluation pour les mers arctiques (IASAP), il comprenait:

- la participation à quatre expéditions dans la mer de Kara organisées par un groupe d'experts norvégiens et russes et par l'Académie des sciences de Russie en 1992-1994;
- la mesure radiométrique *in situ* et en laboratoire des concentrations de radionucléides dans la mer de Kara;
- l'organisation d'intercomparaisons d'étalonnage entre les laboratoires participants pour assurer la qualité des analyses;
- l'établissement d'une base de données centrale pour le projet IASAP contenant toutes les données disponibles sur les concentrations passées et présentes de radioactivité dans les mers arctiques;
- la participation au programme international de modélisation informatique, à l'échelon local, régional et mondial, de la dispersion éventuelle des radionucléides provenant des déchets immergés, et l'évaluation des effets radiologiques qui en résultent.

Les expéditions en mer de Kara

Les publications parues avant 1992 contiennent peu d'informations sur les niveaux de radioactivité dans la mer de Kara. Les données dont on dispose

M. Baxter est directeur, M. Povinec est chef de la Section de radiométrie et Mme Osvath est une physicienne du Laboratoire de l'environnement marin de Monaco.

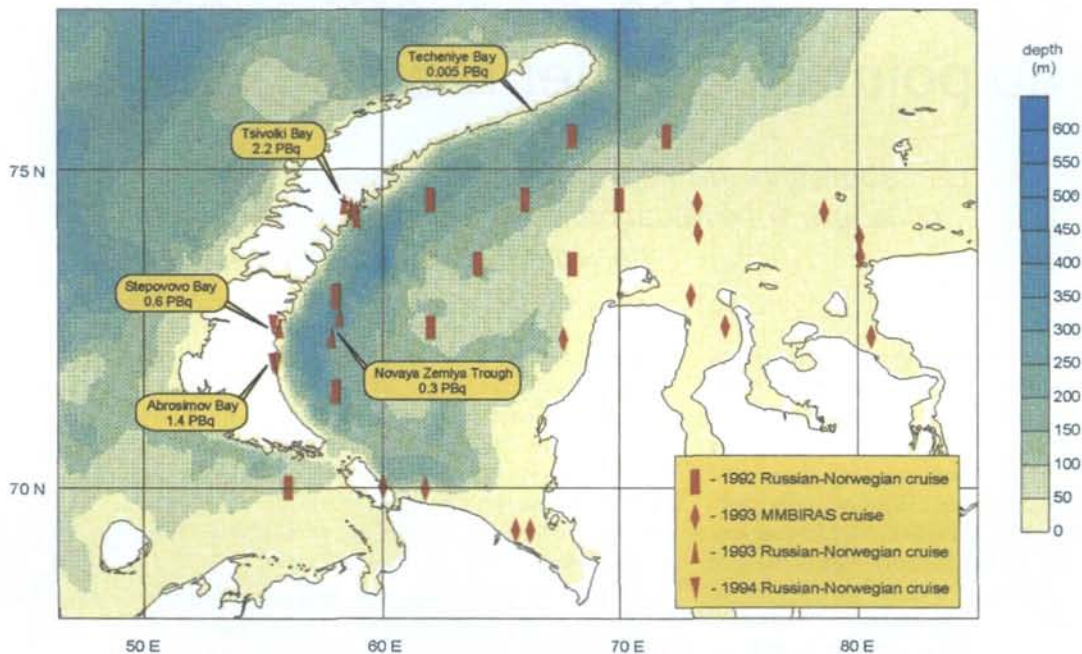
sont les résultats d'études faites par les Etats-Unis et la Russie dans les années 60 et 80. En 1992, après l'annonce d'immersions de déchets radioactifs à faible profondeur au large de la Nouvelle-Zemble, les gouvernements norvégien et russe ont organisé la première d'une série de trois expéditions mixtes dans les mers de Barents et de Kara, auxquelles l'AIEA a été invitée à participer (*voir la carte*).

La première croisière avait pour mission d'étudier la contamination radioactive du milieu marin de la mer de Kara, en vue de déterminer et de quantifier tout apport de sources locales. En 1993, des renseignements sur les immersions ont été officiellement publiés, sur quoi les expéditions mixtes russo-norvégiennes de 1993 et 1994 ont été organisées. Il s'agissait d'étudier les sites d'immersion des baies de Tsivolki, Stepovovo et Abrosimov et de la fosse de Nouvelle-Zemble en vue de localiser et d'identifier les objets immergés, de déterminer leur état et de mesurer la radioactivité dans leur voisinage. Les sites ont été inspectés à l'aide de sonars remorqués, de spectromètres immergés et de véhicules télécommandés.

Les recherches dans ces baies ont été couronnées de succès. Elles ont donné des renseignements détaillés sur les compartiments de réacteurs, les cargos et les bateaux-citernes immergés, accompagnés de déchets solides, sur le sous-marin de la baie de Stepovovo et son réacteur à métal liquide et sur le nombre de conteneurs de déchets solides. Toutes ces expéditions ont procédé à des analyses radiométriques *in situ* et à bord des navires, et sont revenues avec des séries d'échantillons du milieu et des données sur l'environnement, qui ont permis d'évaluer les impacts écologiques et sanitaires des immersions.

La méthode d'échantillonnage visait à: 1) prouver l'existence éventuelle de fuites à partir des déchets immergés, 2) mesurer la dispersion autour des sources et cartographier la distribution dans les sédiments de fond, 3) déterminer les différents apports aux quantités de radionucléides présents, 4) évaluer la contamination du biote, le transfert des radionucléides et les facteurs de concentration à chaque site et 5) étudier l'évolution dans le temps des niveaux de radioactivité.

Stations d'échantillonnage actives pendant les croisières en mer de Kara de 1992-1994 et quantités estimées de radionucléides aux lieux d'immersion



Note: Les quantités estimatives de radionucléides se rapportent à 1994 et proviennent des réacteurs marins évacués aux principaux sites d'immersion, selon les documents de travail du projet IASAP.

Les profils d'eau et de sédiments de fond relevés, ainsi que les échantillons de sol, d'eau douce et de végétaux prélevés sur le rivage des baies pendant la croisière de 1994 ont été utilisés pour affiner l'analyse des radionucléides, essentiellement dans les laboratoires norvégiens et russes et au LEM. Pour assurer la qualité des données sur la radioactivité, ce dernier a organisé des intercomparaisons des mesures de radionucléides dans les sédiments, les eaux et les algues réalisées par les laboratoires travaillant sur les échantillons prélevés lors des croisières.

Il est possible qu'une forte proportion des radionucléides artificiels présents dans la mer de Kara provienne de sources terrestres des bassins de l'Ob et du Ienisseï. C'est pourquoi le LEM a participé en 1993 à une expédition internationale organisée par l'Académie des sciences de Russie pour étudier la radioactivité dans la partie sud de la mer de Kara.

Le LEM procède actuellement à l'analyse de quelque 300 échantillons prélevés par les quatre expéditions. Des matières rapportées de la mer de Kara servent également à des expériences en laboratoire sur la biocinétique des radionucléides et leur interaction avec les sédiments dans les conditions particulières à l'Arctique.

Etudes radiométriques

Les résultats de l'analyse des radionucléides contenus dans les échantillons prélevés dans la mer

de Kara montrent sans l'ombre d'un doute que, jusqu'à présent, il n'y a pas eu de fuite importante à partir des déchets radioactifs immergés. La confirmation peut-être la plus convaincante est le résultat de la mesure, par le LEM, du rayonnement gamma à la surface des sédiments du site d'immersion de la baie de Stepovovo. Le système immergé du LEM comportant un détecteur (refroidi) au germanium ultra-pur a permis d'obtenir un spectre gamma qui est l'un des premiers à haute résolution jamais obtenu en mer *in situ*. Il avait été mis à l'essai pour la première fois et avec succès pendant l'été 1993, dans la mer d'Irlande, près du site nucléaire de Sellafield.

Notons à première vue la prédominance des raies du rayonnement gamma des radionucléides naturels (fond naturel), en l'occurrence du potassium 40, et des produits des chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium. Le seul radionucléide d'origine anthropogénique que l'on puisse identifier est le césium 137 à une concentration bien inférieure à celle des radioéléments naturels. Malgré la proximité des réacteurs immergés et des sites de nombreux essais d'armes nucléaires passés, les concentrations de radionucléides d'origine anthropogénique sont faibles et moindres que dans maintes autres zones des océans de la planète (voir le graphique).

Les analyses radiométriques des sédiments de la mer de Kara faites en laboratoire ont aussi clairement montré que la radioactivité d'origine anthropo-

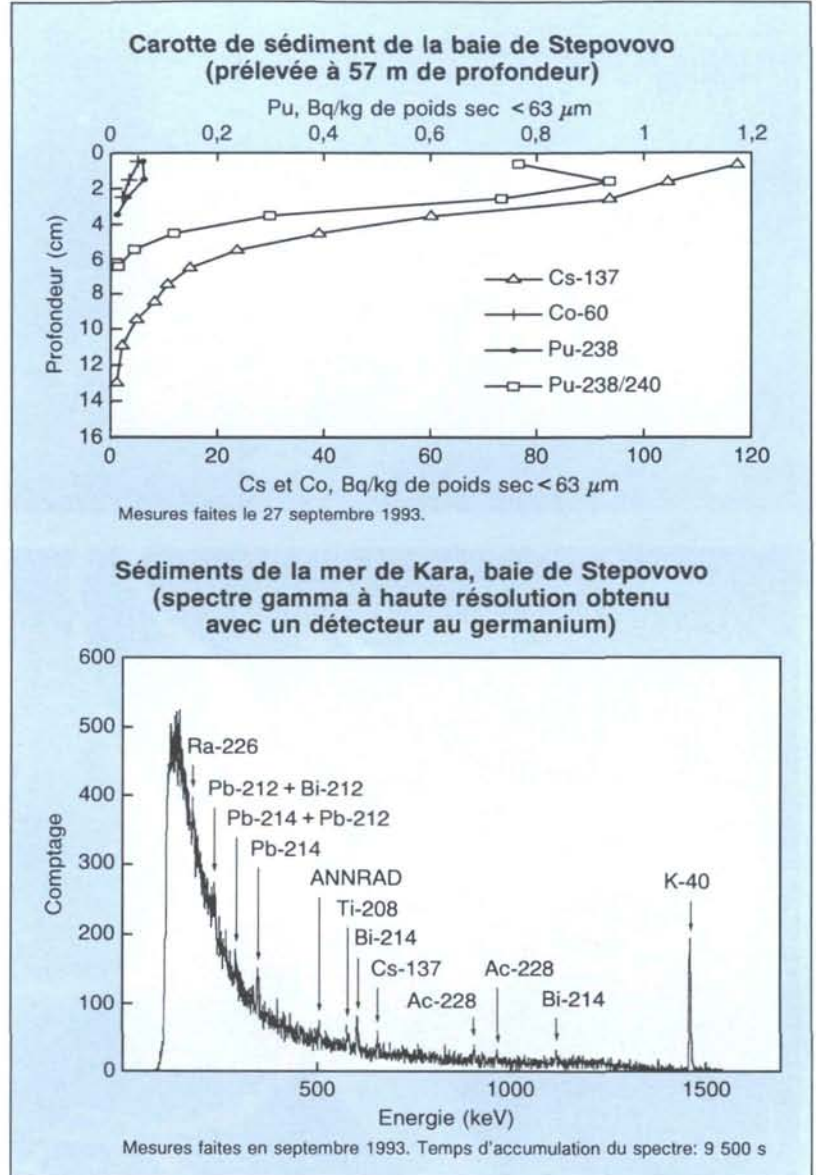
génique de ces sédiments est actuellement faible et résulte surtout du dépôt direct et de l'entraînement par ruissellement dans les bassins fluviaux des retombées mondiales des essais d'armes nucléaires, des rejets des usines de retraitement d'Europe occidentale et de l'ex-Union soviétique, des retombées de Tchernobyl et de celles des essais nucléaires locaux en Nouvelle Zemble. Toutefois, de fortes concentrations de césium 137 et de cobalt 60 ont été relevées au niveau des principaux sites d'immersion des baies d'Abrosimov, de Stepovovo et de Tsvolki, au large de l'île (*voir le graphique*). Une contamination locale s'est produite par des fuites à partir de déchets immergés de faible activité mais n'est pas détectable au-delà de ces sites.

Notre étude, ainsi que les travaux de nos collègues norvégiens et russes, montre qu'il n'y a pas de preuve de fuite importante à partir des composants de réacteurs et autres déchets évacués dans la mer de Kara. Les concentrations passées et présentes de radionucléides dans les eaux et les sédiments de cette mer demeurent très faibles. En ce qui concerne ces immersions, la grande question en suspens est donc de savoir non ce qui s'est passé mais ce qui pourrait survenir. Le principal problème scientifique est de prévoir l'importance, la teneur en nucléides, la dispersion, le transfert et les conséquences radiologiques d'une fuite éventuelle à partir des réacteurs et autres déchets nucléaires immergés.

Base de données sur la radioactivité

Le programme IASAP de l'AIEA bénéficie de l'aide que lui apporte la base de données sur la radioactivité marine mondiale établie par le LEM (programme GLOMARD), qui centralise l'acquisition et la synthèse de toutes les données sur la radioactivité marine, c'est-à-dire de l'eau de mer, des sédiments et du biote. Cette base de données est un outil scientifique conçu pour plusieurs fonctions importantes telles que la fourniture immédiate d'une information à jour sur les niveaux de radioactivité et d'instantanés des activités à certains moments en certains lieux, l'étude des variations dans le temps et le dépistage des lacunes de l'information disponible.

Elle est reliée à la base de données du LEM sur le contrôle de la qualité des analyses, ce qui permet de vérifier sur-le-champ les pratiques de laboratoire. Dans le cas particulier des mers arctiques, elle fournira les entrées pour l'évaluation de la radioactivité ambiante de la région et pour le calcul des doses de rayonnement reçues par le biote marin et les populations humaines locales, régionales et mondiales. Quelques applications dans le cadre du programme d'évaluation des mers arctiques sont immédiates: détermination des teneurs relatives en nucléides, étude des tendances dans le temps, calcul des quantités, estimation des doses et validation des modèles.



Modélisation informatique et évaluation radiologique

La modélisation de la dispersion de la radioactivité a commencé géographiquement à trois échelons — mondial, régional et local — ce qui permet de prévoir les conséquences éventuelles pour le monde dans son ensemble et pour les populations vivant aux alentours des sites d'évacuation. Pour modéliser la dispersion des polluants radioactifs sur le plan mondial, le LEM a mis au point et appliqué plusieurs modèles compartimentés.

Ces modèles sont particulièrement utiles pour les évaluations à long terme (plus de 100 ans) et ont déjà servi dans d'autres programmes (programme CRESO de l'Agence pour l'énergie nucléaire et programme MARINA de la Commission européenne).

Résultats des études radiométriques dans la mer de Kara



Les scientifiques du LEM ont participé à quatre expéditions pour étudier la situation radiologique de la mer de Kara, parfois dans des conditions difficiles. En plus des échantillons de sol prélevés sur la Nouvelle-Zemble, ils ont recueilli des échantillons de biote et autres matières dans les eaux de la mer de Kara. (Photo: I. Osvath, AIEA-LEM)

De plus, l'exactitude des résultats obtenus correspond bien au détail qu'exigent les évaluations radiologiques.

Les travaux dont nous parlerons ici se fondent sur le modèle ARCTIC-2 à 16 compartiments, à structure renforcée pour la région arctique. Celui-ci indique avec une précision satisfaisante la dispersion du césium 137 de Sellafield dans les mers septentrionales.

Les doses à la population mondiale (engagement de dose collective effective intégrée sur 300 ans après le dégagement) et les débits de dose individuelle maximaux à des groupes critiques hypothétiques ont été calculés à partir de la consommation de poissons de mer. Le volet océanographique du modèle fournit des données sur la concentration des radionucléides. Le volet radiologique traduit les concentrations de radionucléides dans l'eau en concentrations correspondantes dans le poisson en appliquant les facteurs recommandés par l'AIEA. Le volume des prises est calculé d'après les statistiques de la pêche de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et du Conseil international pour l'exploration de la mer. L'absorption de radionucléides par les humains est quantifiée en postulant que 50% de toute la pêche est normalement consommée, sauf dans la région des mers arctiques où la consommation atteint 80%. Les prises sont supposées constantes pendant la période considérée et aucun délai n'intervient entre la pêche et la consommation. La lecture finale en doses est obtenue à l'aide de facteurs de conversion pour les adultes fondés sur ceux de la recommandation 60 de la Commission internationale de protection radiologique.

Une série de scénarios de terme-source a été mise au point à partir de l'information dont on dispose sur les déchets nucléaires, y compris les réacteurs, immergés dans l'Arctique. Les calculs, qui concernent 20 radionucléides de longue période, ont été faits pour le moment de l'immersion et pour 500 ans après.

En ce qui concerne le dégagement progressif du césium 137 pendant les 20 ans suivant l'immersion dans la mer de Kara des réacteurs marins contenant du combustible épuisé, le modèle prédit une concentration maximale d'environ 10 Bq par mètre cube en moyenne dans toutes les eaux de fond de l'ouest de la mer de Kara, chiffre qui représente moins de 1% de la radioactivité naturelle de l'eau de mer. Des modèles locaux et régionaux à plus forte résolution spatiale seront utilisés pour localiser et quantifier des valeurs maximales inférieures.

Une simple évaluation a été faite, à partir des renseignements dont on dispose, des effets radiologiques dans le cas du pire scénario. Les calculs de doses fondés sur les estimations maximales du contenu des réacteurs immergés donnent un engagement de dose collective efficace de l'ordre de 10 homme-sieverts, si le dégagement est instantané au moment de l'immersion. Plus de 70% de cette dose provient du césium 137 et le reste est dû, pour

la plupart, aux produits d'activation (cobalt 60 et carbone 14). Pour ces calculs, il faut admettre qu'environ 20 kilotonnes de poissons sont pêchés par an dans la mer de Kara.

L'hypothèse d'un dégagement instantané des nucléides est, en revanche, extrêmement irréaliste. En effet, le dégagement de l'essentiel du contenu résulterait normalement de la corrosion qui dure des siècles sinon des millénaires. En particulier, la dissolution du cobalt 60 contenu dans l'acier et autres composants structuraux ne serait probablement pas quantifiable pendant la période moyenne de ce nucléide qui est de l'ordre de 7,6 ans. Ainsi, en cas de dégagement rapide des radionucléides contenus dans le réacteur, c'est le césium 137 qui est en fait la source principale d'irradiation au-delà des abords immédiats du site d'immersion. Quant au dégagement différé de radionucléides, disons après 500 ans de confinement, 99% de l'engagement de dose provenant de la consommation de poisson sera dû au carbone 14.

Pour évaluer l'impact régional, des modèles tridimensionnels de circulation et de dispersion étudiés par l'Université de Hambourg sont maintenant utilisés. Les calculs préliminaires visant à vérifier les prévisions du modèle indiquent que pour un rejet continu de 1 TBq par an de césium 137 dans la baie d'Abrosimov les concentrations moyennes de ce nucléide à l'entrée de la baie atteindraient 2 kBq par mètre cube.

Documentation de la situation radiologique

Les travaux radiométriques et les modélisations préliminaires réalisés par le LEM pour le projet IASAP ont déjà donné d'intéressants résultats qui indiquent que seuls les effets radiologiques sur le plan régional et local pourraient avoir de l'importance. L'impact radiologique mondial des immersions pratiquées dans le passé dans les mers arctiques sera comparable et même inférieur aux effets des autres sources de radioactivité d'origine humaine et naturelle.

Les scientifiques du LEM continueront de s'occuper activement des divers aspects de cet important projet international afin d'étudier et de documenter les incidences sur la santé et l'environnement des immersions de déchets radioactifs pratiquées précédemment dans les mers arctiques.